

空港除雪の省力化・自動化に関する研究 ～作業パターンの分析と運転支援ガイダンスシステムの導入～

黒田優佳＊1

1. はじめに

生産年齢人口の減少を背景として空港業務従事者の人手不足が懸念される中、空港除雪作業を支援するための省力化・自動化技術の開発・導入が求められている。国土交通省航空局は2020年に「空港除雪の省力化・自動化に向けた実証実験検討委員会」を立ち上げ、空港除雪での新技術導入に向けて官民連携して実証実験を行うなど検討を進めている¹⁾。国総研ではこれを支援する研究として、省力化・自動化に向けて開発すべき除雪車及びその装置に必要な機能を検討するため、これまで熟練のオペレータが行ってきた空港除雪車の運転操作についての実態把握を進めている^{2,3)}。本稿では、空港除雪作業中の除雪車の走行や運転操作についてデータを収集し、省力化または自動化につながる可能性のある定型的なパターンについて分析した結果を報告する。あわせて本研究に関する社会実装の事例として、新潟空港の除雪車に導入された運転支援ガイダンスシステムについて紹介する。

2. 既往の研究と課題

除雪の省力化・自動化の必要性は空港に限ったものではなく、北海道開発局の「除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム（i-snow）」⁴⁾では、道路除雪と連携した取組がみられる。

一方で空港除雪の特徴としては、大規模な雁行隊列による除雪体制（図-1）、航空機の安定的な運航のための除雪完了目標時間や除雪精度（除雪完了時の路面の滑り摩擦係数）といった高度な作業要件が定められていることが挙げられる。加えて、滑走路のような広大な開放空間において適切な自車位置認識技術が必要である。このため、空港除雪における除雪車の走行や運転操作については独自に実態把握と分析を行う必要がある。



出典：東京航空局 新千歳空港事務所

図-1 雁行隊列を組む空港除雪車（新千歳空港）

3. 研究の手法

新潟空港の除雪車に観測機器（GPS、ドライブレコーダー）を設置し、除雪作業中の車両の走行と運転操作のデータを収集した。収集したデータを整理した上で新潟空港除雪事業者等へも確認し、除雪車各車種について走行と運転操作のパターンを分析した。

データ収集の概要を表-1に示す。滑走路除雪時の雁行隊列と観測対象車の隊列位置を図-2に示す。走行位置・速度については、GPSを用いて全車両を観測対象とした。運転操作については、運転席に設置したドライブレコーダーを用いて、隊列の中で先頭・2台目・最後尾車両を優先して観測対象とした。プラウ・スノーパ各車両の隊列位置は必ずしも固定されておらず、除雪回毎に位置が変更される場合があった。

表-1 新潟空港におけるデータ収集の概要

観測時期	●2020年12月23日～2021年2月9日の降雪日 (降雪15日で除雪24回分のデータを収集)
対象車種	●プラウ、スノーパ、ロータリ、凍結防止剤散布車
観測データ	●GPS：車両の走行位置・速度 ●ドライブレコーダー：運転操作、車両前方の様子
参照データ	●天候（降雪量、積雪量、風速、風向、降雨） ●運航状況（時間帯、遅延・欠航有無）

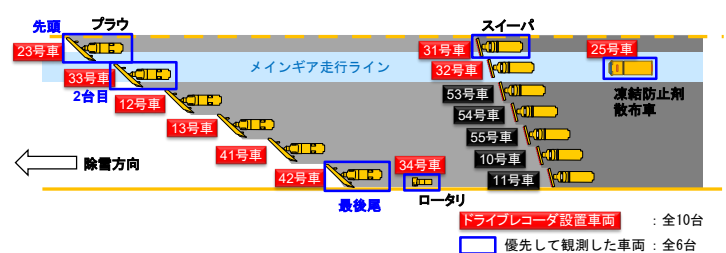


図-2 滑走路除雪時の雁行隊列と観測対象車

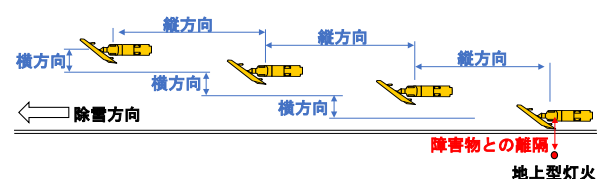


図-3 雁行隊列の車両の位置（離隔と相対距離）

4. 分析結果

収集したデータの分析結果を概説する。

4. 1 空港除雪車の走行位置

滑走路除雪時のプラウについて、滑走路中間部での最後尾車両と障害物（滑走路外側の地上型灯火）との離隔（図-4）と、雁行隊列における車両間の相対距離の横方向（図-5）・縦方向（図-6）を示す。

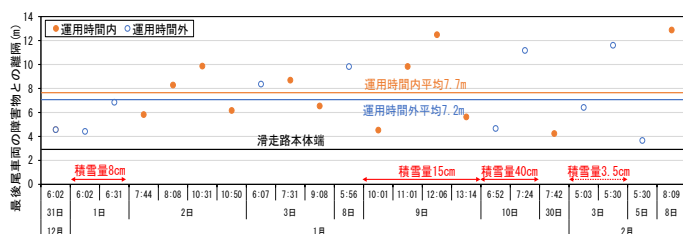


図-4 滑走路中間部での障害物との離隔（プラウ）

障害物との離隔はばらつきがあるものの平均値は7m程度で、雁行隊列の最後尾車両が滑走路端のやや内側を走行していることが確認できる。空港の運用時間内と運用時間外とで平均値にあまり差はみられなかった。

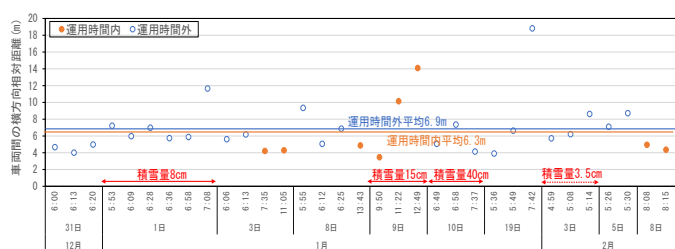


図-5 雁行隊列横方向の相対距離（プラウ）

雁行隊列車両間の横方向の相対距離は、平均値が7m程度で前述の障害物との離隔とほぼ同程度の距離がとられていることが確認できる。空港の運用時間内と運用時間外とで平均値にあまり差はみられなかった。

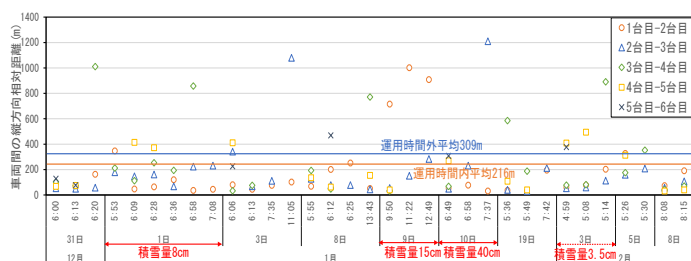
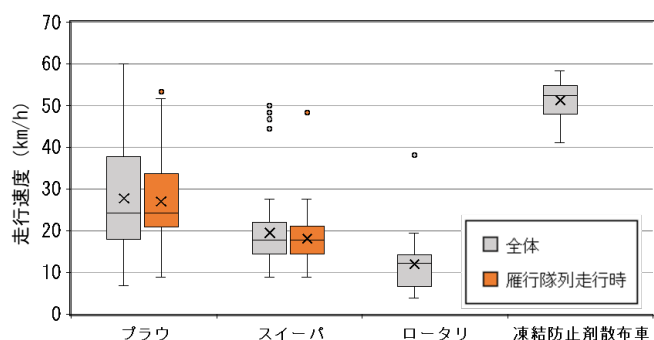


図-6 雁行隊列縦方向の相対距離（プラウ）

縦方向の相対距離は、個々の値にばらつきがあるものの概ね50-300mの範囲で、積雪量の多い日に長くなる傾向がみられた。空港の運用時間内の平均値が216m、運用時間外の平均値が309mであった。

4. 2 空港除雪車の走行速度

除雪時の各車種の走行速度分布を図-7に示す。



注：全体は雁行隊列走行時と回送時

図-7 各車種の走行速度分布

特にプラウの走行速度は平均値は30km/h程度であるが、ばらつきが大きい。プラウは滑走路において積雪状態から最初に雪を押し出す作業を行うことから、走行速度は積雪条件の影響を受けやすいと考えられる。

各除雪作業回において、積雪の影響を受けやすい初回滑走路除雪時のプラウの走行速度と積雪量との関係を図-8に示す。走行速度と積雪量は弱い負の相関を示していることが確認できる。

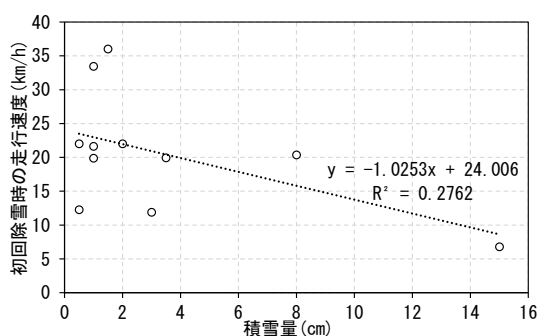


図-8 プラウの走行速度と積雪量との関係

4. 3 除雪装置の操作

車種毎に1台の除雪車が、それぞれ1回の除雪作業回で行った操作を整理したものを図-9～12に示す。

プラウは、除雪作業中は滑走路、平行誘導路、取付誘導路においていずれもプラウ装置のレバーのみの操作であった。滑走路と取付誘導路、平行誘導路と取付誘導路との境界部での操作が多く、境界部では何度も時計回りに回って除雪作業が行われることがあった。

スイーパーは主に滑走路の除雪を行い、積雪により中心線が見えない時は誘導路でも作業を行っていた。主に「連動作業」、「ブラシカバー（上・下）」の操作があり、氷雪や風等の状況に対応したものとみられる。

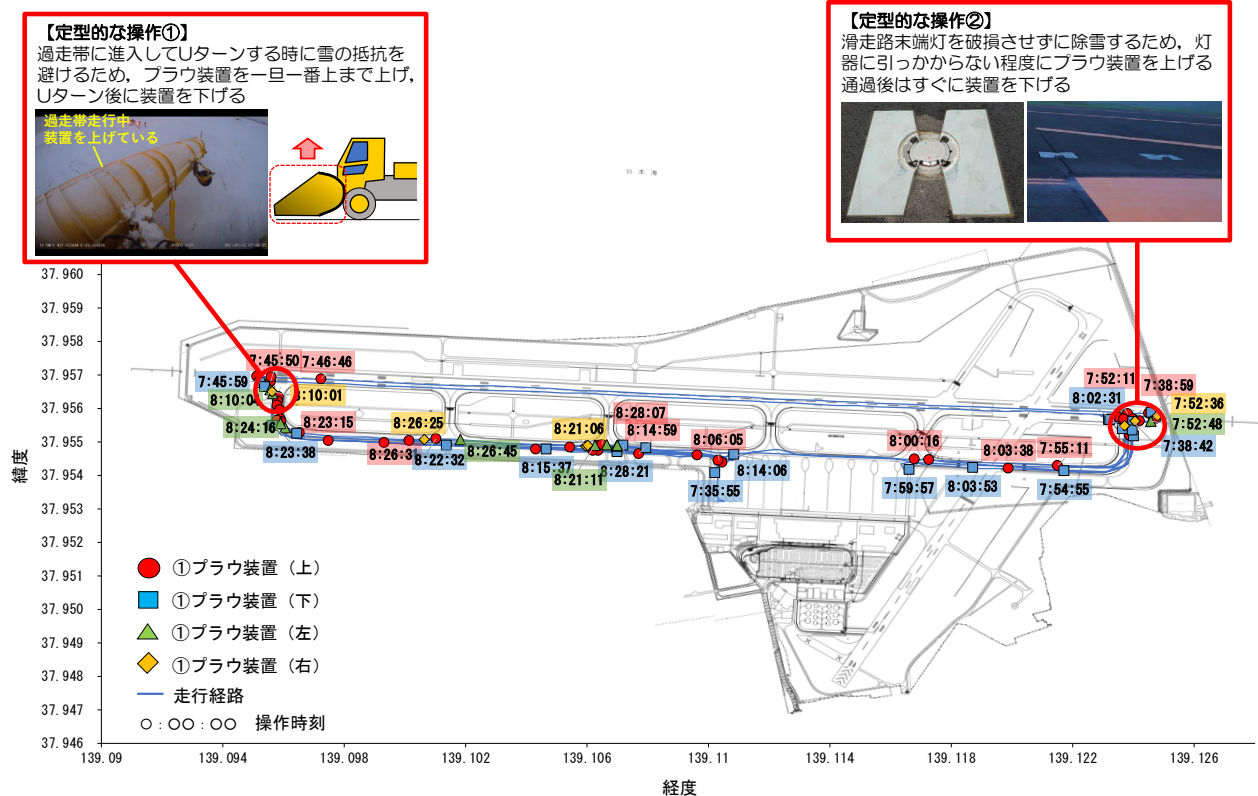


図-9 操作の整理結果例 (ブラウ 雁行隊列の2台目 : 2021/1/2 7:30-8:40)

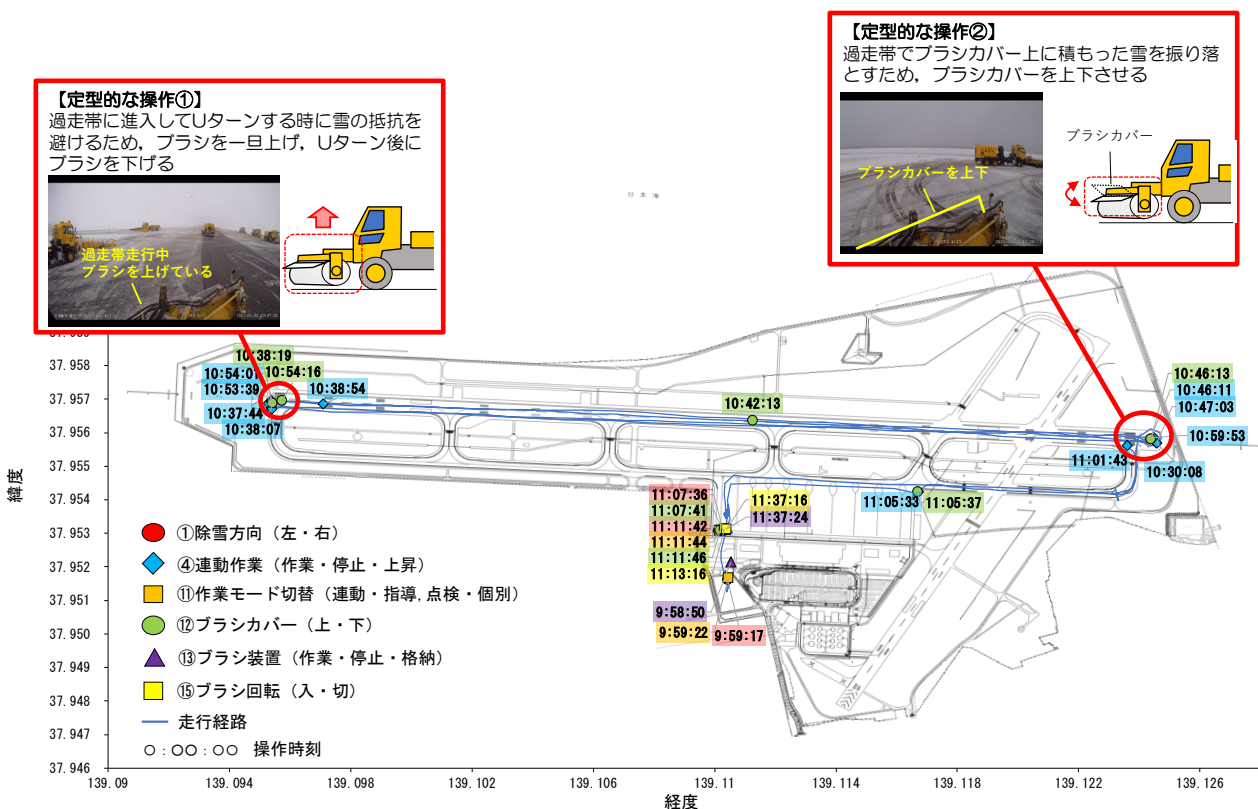
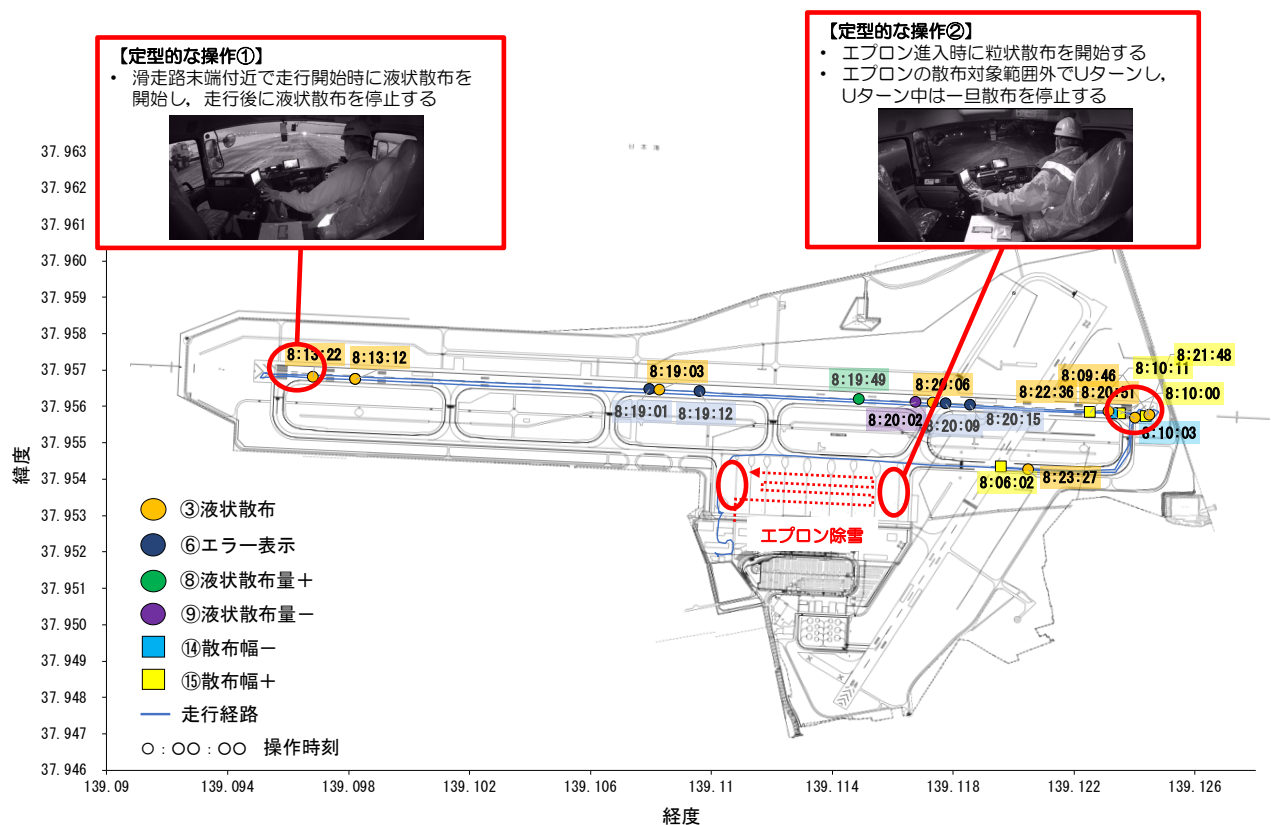
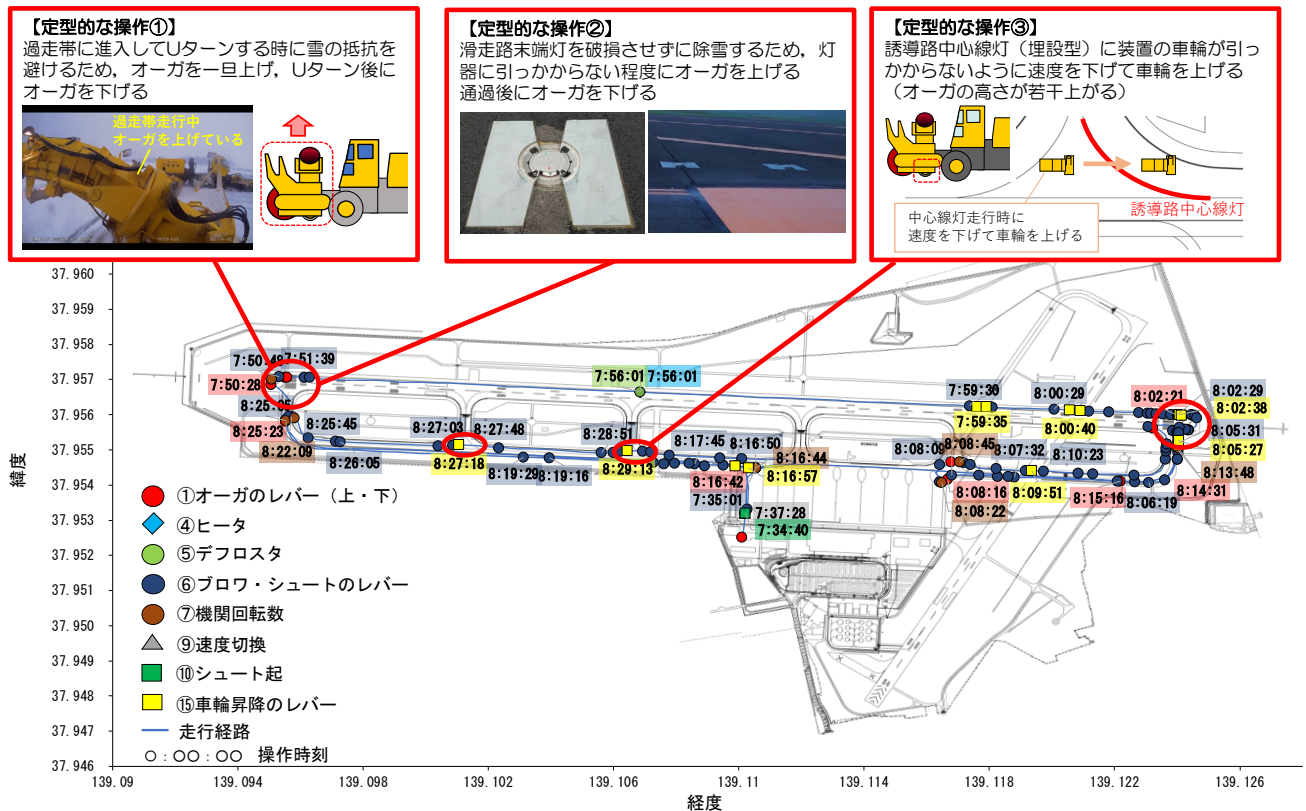


図-10 操作の整理結果例 (スノーパ 雁行隊列の3台目 : 2021/1/2 10:20-11:40)



ロータリはプラウと連動して除雪作業を行っていた。風向等の状況に応じてシュート方向の調整、機関回転数の調整を行うなど、現地条件に応じた操作が多い。これらは投雪の際に支障物を避けるための操作とみられる。

凍結防止剤散布車は主に滑走路とエプロンでの作業を行っていた。主に「液状散布」の操作があり、操作する位置や頻度は冰雪状況に対応しているとみられる。

同図-9～12において、今回の観測結果から除雪作業回によらず毎回行われていた操作で、操作の目的・操作位置・操作内容が同一であるものを「定型的な操作」として示す。これらの操作は毎回行われるということを新潟空港の除雪事業者からも確認している。なお、他空港（新千歳空港、青森空港）においても概ね同一または類似の操作があることを確認している²⁾。

除雪車の位置情報に基づき、これらの操作を自動制御で行わせるシステムを構築することで、除雪作業の一部自動化につながるものと考えられる。

さらに、今回の観測結果と新潟空港の除雪事業者への確認により、特定の目的で行われるものの状況に応じた操作位置・操作内容で行われる（または調整される）「非定型の操作」があることを確認した（表-2）。

表-2 非定型の操作

車種	操作	操作場所（例）
プラウ	除雪幅を広げるために、プラウ装置の角度を調整してやや外側を走行	取付誘導路との交差部等
	押出した雪が中心側に逃げないように、プラウ装置の角度を調整	誘導路カーブ走行時
スノーパ	風向きを考慮して取付誘導路側に雪がとばないようにブラシの向きを調整	平行誘導路中心線の除雪時
ロータリ	投雪先の障害物（灯火や看板等）を避けるため、シュート方向や距離を調整 ①シュートキャップの開閉、 ②シュートの旋回、 ③シュートの上げ下げ 等	障害物の周辺等

「非定型の操作」は、操作に影響する現地条件（施設配置や天候等）を定量化する等により操作との関係を明確にすることで、上述の「定型的な操作」と同様に自動化につながる可能性が考えられる。今回のように除雪車の走行や運転操作のデータを蓄積し、現地条件と「非定型の操作」との関係を分析する必要がある。

またこれらの「定型的な操作」や「非定型の操作」については、ただちに自動化にまでは至らずとも、除雪車の位置情報や現地条件に基づき指定の操作をガイダンスするシステムを構築することで、除雪作業の省力化につながると考えられる。このようなシステムは、これまで熟練によるノウハウが必要とされてきた空港除雪車の運転操作について、若手や経験の浅い者への技術継承に資するものと考えられる。

5. 研究成果の社会実装と効果計測の検討

本研究で確認した空港除雪車の走行や運転操作のパターンをもとに、国土交通省航空局は除雪車両オペレータの労力を省力化するための技術検討とその実装をすすめている¹⁾。国総研では新技術の導入にあわせてその導入効果を計測する手法の検討をすすめている。

5. 1 運転支援ガイダンスシステムの導入

空港の除雪作業現場において新たに運転支援ガイダンスシステムを導入することで、除雪車両オペレータの除雪作業を支援し、さらには運転操作の一部を自動制御する試みがなされている¹⁾。

運転支援ガイダンスシステムとは、車内の表示端末に正確な自車位置と空港内設備等の位置を表示するとともに、車両が除雪作業時に支障となる設備等に接近した際に危険を通知することで、除雪車両オペレータの労力の省力化に有効と想定される技術である（図-13）。

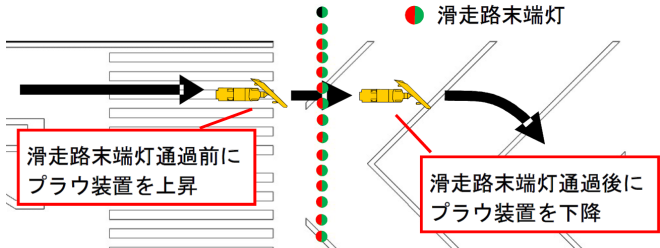


出典：国土交通省航空局¹⁾

図-13 運転支援ガイダンスシステムの概要（プラウ）

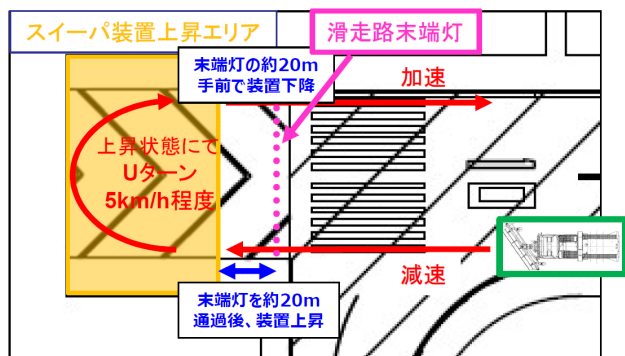
2022年度には新潟空港のプラウ2台に、2023年度にはスノーパ1台に運転支援ガイダンスシステムが導入され、さらに同システムには一部操作の自動制御機能が付加されている。

プラウでは滑走路末端灯通過時にプラウ装置を上昇・下降させる自動制御が（図-14）、スノーパでは滑走路末端の過走帯走行時にスノーパ装置を上昇・左右旋回・下降させる自動制御が試行されている（図-15）。



出典：国土交通省航空局¹⁾

図-14 運転支援ガイダンスシステムによる「定型的な操作」の自動制御（プラウ）



出典：国土交通省航空局¹⁾

図-15 運転支援ガイダンスシステムによる
「定型的な操作」の自動制御（スワイパ）

5. 2 新技術の導入効果計測手法の検討

新技術の導入にあわせて、その導入効果を計測するための効果項目の抽出と各項目に対する指標を検討している（表-3）。各指標による効果の計測は、空港除雪車に設置するドライブレコーダー映像の分析による方法や、除雪車両オペレータへの聞き取りによる方法が考えられる。本計測手法により新潟空港をはじめとして今後運転支援ガイダンスシステムを導入する各空港において導入効果を計測し、その結果を蓄積することで計測手法を引き続き精査していく必要がある。

表-3 導入効果の効果項目と計測指標（案）

項目	細目	指標
定型的	導入技術の使用性	画面表示の視認性 ・モニターの大きさや明るさ ・表示情報の過不足、見やすさ
		モニター更新速度 ・モニター更新速度 ・表示の遅延の有無
		地図表示の正確性 ・路面標識や航空灯火の表示位置と実際の位置のズレの有無 ・他車両の表示位置と実際の位置のズレの有無 ・自車向き・位置のズレの有無
		危険通知の正確性 ・通知の遅れ／漏れの有無 ・通知方法の不快感の有無
	適用条件	視界条件・気候・雪質・積雪量への適用性 ・低視程時や降雪、積雪時における適用可否
	作業安全への寄与	除雪作業の安全性向上 ・導入技術により抑制・解消されるヒヤリハット、事故等
	除雪品質への影響	除雪の品質確保 ・除雪作業時間の差異（連続降雪時の仕上りの差異） ・路面仕上りの差異
定量的	省人化効果	除雪作業に係る労働時間・費用 ・省人化による人工の削減、作業時間の短縮 ・待機人数の削減
	就労環境の改善	延べ労働時間、深夜・早朝労働時間 ・長時間労働、深夜・早朝労働の対応者の削減

6. まとめと今後の課題

空港除雪の省力化・自動化に向けて、除雪車及びその装置に必要な機能を検討するため、新潟空港において除雪作業を行う車両の走行位置や運転操作のデータを収集し、定型的なパターンについて分析した。

その結果、各車種とも滑走路末端において「定型的な操作」があること、その他にも施設配置や天候等の現地条件に応じて行われる「非定型的な操作」があることを確認した。

2022年度以降に順次新潟空港のプラウ、スワイパに導入されている運転支援ガイダンスシステムには、本研究で確認した「定型的な操作」をもとに運転操作の一部を自動制御する機能が加えられており、作業の省力化が進められている。

引き続き、更に多くの走行・操作データを収集・蓄積することにより、空港除雪車の操作と現地条件との関係について分析を進める必要がある。また今回は新潟空港での除雪作業について観測・分析を行ったが、他空港においても同様の観測を行い、除雪車の走行・操作のパターンについて分析し、雪質や気象条件といった空港毎の特性による違いや複数の空港間で共通する点を整理することで、より汎用的な省力化・自動化技術のための検討につながると考える。

謝辞

空港除雪車の走行・操作データの観測、ヒアリング調査の実施にあたり、新潟空港除雪事業者の皆様、国土交通省東京航空局新潟空港事務所の皆様に多大なるご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 国土交通省航空局（2020）：空港除雪の省力化・自動化に向けた実証実験検討委員会, https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000038.html（2024. 10. 7 アクセス）
- 黒田優佳・鎌倉崇・乙幡和利（2023）：空港除雪の自動化・省力化のための除雪車両走行・操作データの分析, 国土技術政策総合研究所資料 No. 1241, 国土技術政策総合研究所
- 国土技術政策総合研究所空港研究部空港計画研究室（2023）：空港除雪の省力化・自動化に関する研究, 国総研 Y ou Tube チャンネル, <https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/nilim-youtube/index.html>（2024. 10. 7 アクセス）
- 北海道開発局（2017）：除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム（i-snow), <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/splaat0000010dmm.html>（2024. 10. 7 アクセス）